Institut für Physik
Humboldt-Universität zu Berlin

Physikalisches Grundpraktikum I

Versuchsprotokoll

T7-Spezifische Wärmekapazität idealer Gase

Versuchsplatz 1

Tammo Rukat, 528345

Versuchspartner: Benjamin Bujak, 529551

6. Mai 2008

Inhaltsverzeichnis

1 Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung

Wir wollen den Adiabtenexponent κ von Luft nach der Methode von Clément-Desormes und nach der Schwingungsmethode ermitteln, mit der wir außerdem den Adiabtanexponent von Argon untersuchen. κ ist der Quotient aus den spezifischen Wärmekapazität eines Gases für isobare und isochore Prozesse und ausßerdem der Proportionalitätsfaktor für die zugeführte Wärmeenergie und die Temperaturänderung einer bestimmten Stoffmenge.

2 Versuchsbeschreibung

Ausführlichere Informationen zur Versuchsdurchführung und zum physikalischen Hintergrund sind dem Heft zum physikalischen Grundpraktikum ‚Mechanik und Thermodynamik'[1] zu entnehmen.

2.1 Clément-Desormes-Methode

Als Versuchgerät verwenden wir einen, über einen Zweiwegehahn mit einem Druckball sowie der Umgebungsluft verbunden und mit einem U-Rohr-Manometer zur Messung des Drucks ausgestatteten, 20l fassenden Glasballon. Durch Pumpen am Druckball erhöhen wir den Druck im Glasballon und messen diesen mit dem Manometer fünf Minuten lang minütlich, bis wir den Zweiwegehahn öffnen und den Druck sich dem Umgebungsdruck anpassen lassen. Wir verschließen den Zweiwegehahn sofort wieder und Messen erneut über fünf Minuten den vorliegenden Druck. Die Prozedur wiederholen wir sechs mal um unter Ausnutzung des Boyle-Mariott'schen Gesetzes und der Poissonschen Gleichung den Adiabatenexponent κ zu bestimmen.

2.2 Schwingungsmethode

Die hier verwendete Apparatur besteht ebenfalls aus einem – nun 5l fassenden – Glasballon in den ein stetiger Luftstrom eingeleitet wird, sodass sich ein Kunststoffschwingkörper in einem lotrecht auf dem Ballon befindlichen Glasohr unter dem sich erhöhenden Druck nach oben bewegt bis er im Rohr eine Öffnung freigiebt, durch die ein Druckausgleich mit der Umgebung stattfindet und erneutes absinken des Schwingkörpers, somit eine Wiederholung der Prozedur herbeigeführt wird. Unter Benutzung einer Lichtschranke können wir die Dauer für 100 solche Schwingungen messen und unter Zuhilfenahme dieser Schwingungsdauer den Adiabtanexponenten κ ermitteln.

3 Messwerte und Auswertung

Zu Versuchsbeginn werden abgelesen:

Raumdruck $p_R = (1007 \pm 0,2) HPa$ Raumtemperatur $T_R = (24,5 \pm 0,5)°C$

3.1 Clément-Desormes-Methode

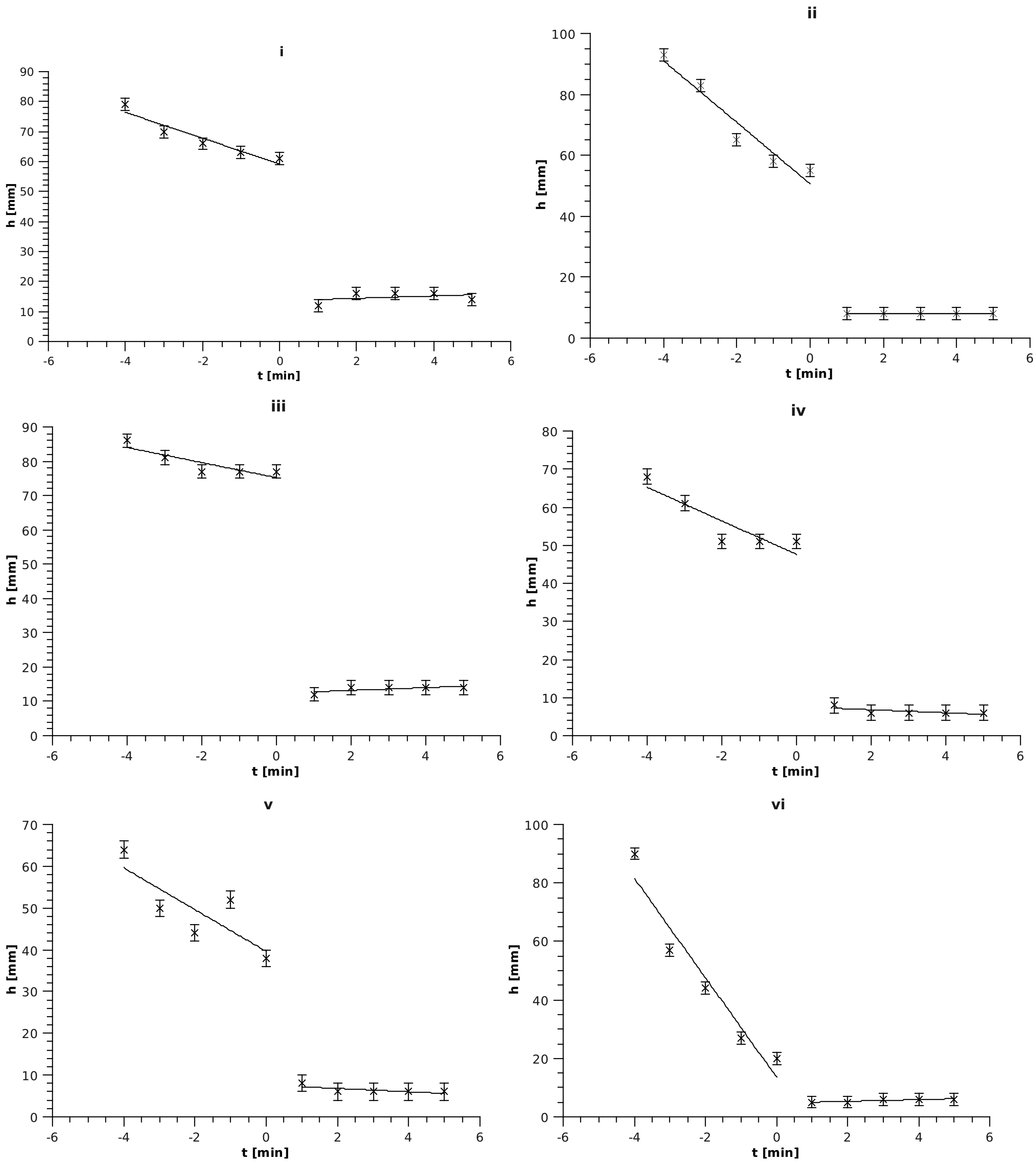
Für unsere sechs Messreihen nehmen wir als zufälligen Fehler der Flüssigkeitshöhe im U-Rohr-Manometer eine Skaleneinheit, also $1mm$ an und betrachten die Zeit als nicht fehlerbehaftet, da sich die Flussigkeitshöhen nur sehr langsam ändern und die Zeitintervalle von einer Minute genügend großgewählt sind. Als Messresultate geben wir nun die Höhendifferenz zwischen den beiden Manomterschenkeln $\mathbf{\Delta h}$ an.

t [min]	h [mm] ± 2					
	i	ii	iii	iv	v	vi
-5	79	93	86	68	64	90
-4	70	83	81	61	50	57
-3	66	65	77	51	44	44
-2	63	58	77	51	52	27
-1	61	55	77	51	38	20
1	12	8	12	8	8	5
2	16	8	14	6	6	5
3	16	8	14	6	6	6
4	16	8	14	6	6	6
5	14	8	14	6	6	6

Es gilt für den Adiabtenexponenten κ [1]: $\kappa = \dfrac{h_1}{h_1 - h_2}$

3.1.1 Berechnung durch Regression

Zur Ermittlung von κ versuchen wir die im Versuchsskript vorgeschlagene Korrekturmethode, die Veränderungen der Zimmertemperatur berücksichtigt. Wir führen für jede Messreihe zwei lineare Regressionen durch und erwarten zwei je zwei annähernd parrallele Geraden deren Abstand $h_1 - h_2$ Betragen soll (siehe Abbildung im Versuchsskript)[1]. Betrachten wir die Regressionsgeraden:



Es ist deutlich sichtbar, dass die vorausgesetzte Hypothese einer sich langsam ändernden Raumtemperatur, also zweier parralleler Geraden im t/h-Diagramm nicht, oder nur sehr bedingt zutrifft. Die Höhenschwankungen müssen eine andere Ursache haben und die vorgeschlagene Regressionsmethode zur Ermittlung von κ ist kaum brauchbar.

3.1.2 Alternative Berechnung

Wir versuchen deshalb eine andere Vorgehensweise und bilden die Abstände der Mittelwerte der Messreihen und der Standartabweichung.
Aus der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung folgt für den Fehler von κ:

$$u_\kappa = \sqrt{\left(\frac{h_2}{(h_1 - h_2)^2} u_{h_1}\right)^2 + \left(\frac{h_1}{(h_1 - h_2)^2} u_{h_2}\right)^2} \tag{1}$$

und damit:

	i	ii	iii	iv	v	vi
$h_1[mm]$	$67,8 \pm 2,4$	$70,8 \pm 6,8$	$79,6 \pm 2,2$	$56,4 \pm 4,1$	$49,6 \pm 6,6$	$47,6 \pm 8,1$
$h_2[mm]$	$14,8 \pm 1,9$	$8 \pm 1,5$	$13.6 \pm 0,7$	$6,4 \pm 0,7$	$6,4 \pm 0,7$	$5,6 \pm 0,3$
κ	$1,28 \pm 0,04$	$1.13 \pm 0,03$	$1,21 \pm 0,01$	$1,13 \pm 0,02$	$1,14 \pm 0,03$	$1,13 \pm 0,03$

Wir bilden den Mittelwert für κ, geben als Fehler den Vertrauensbereich $\overline{s} = \pm\frac{s}{\sqrt{n}}$ (mit $n = 6$) und den Maximalfehler der κ von $0,04$ an und erhalten:

$$\kappa = \mathbf{1,17 \pm 0,05} \tag{2}$$

3.2 Schwingungsmethode

Wir messen mit einem Raumbarometer den Raumdruck $\mathbf{p_0 = (1007 \pm 0,2)hPa}$, mit einem Raumthermometer die Temperatur $\mathbf{t = (24,5 \pm 0,5)°C}$ sowie mit einem Längenmaßdie Höhe des Schwingkolbens $\mathbf{h = (20 \pm 1)cm}$.
Für je 100 Schwingungen messen wir mit einer Lichtschranke und dem Fehler von einer Skaleneinheit und dividieren durch 100 um die Periodendauer zu erhalten:

Periodendauer $T[ms]$		
	Luft	Argon
T_1	569,4	533,8
T_2	561,5	533,8
T_3	559,9	533,9
T_4	558,3	533,9
T_5	555,9	533,3
T_6	555,1	533,8
Mittelwert	$\overline{T}_L = 560,0ms$	$\overline{T}_L = 533,8ms$
Standartabweichung	$\sigma_L = 5,2ms$	$\sigma_A = 2,3ms$
Vertrauensbereich	$e_z, L = 2,1ms$	$e_z, A = 0,9ms$
systematischer Fehler	$e_s, L = 1ms$	$e_s, A = 1ms$
Messunsicherheit	$u_L = 2,1ms$	$u_A = 1,9ms$
Endergebnis	$T_L = (560 \pm 2)ms$	$T_A = (533 \pm 2)ms$

Wie im Versuchsskript[1] erläutert gilt für den Adiabatenexponenten

$$\kappa = \frac{4Vm}{r^4 p T^2} \tag{3}$$

Für dessen Fehlerfortpflanzung bilden die partiellen Ableitungen nach den Fehlerbehafteten Grössen wir erhalten als Fehler:

$$u_\kappa = \sqrt{\left(\frac{4m \cdot u_V}{r^4 p T^2}\right)^2 + \left(\frac{4V \cdot u_m}{r^4 p T^2}\right)^2 + \left(\frac{16Vm \cdot u_r}{r^5 p T^2}\right)^2 + \left(\frac{4Vm \cdot u_p}{r^4 p^2 T^2}\right)^2 + \left(\frac{8Vm \cdot u_T}{r^4 p T^3}\right)^2}$$

wobei für den Druck im Rohr p gilt:

$$p = p_0 + \frac{m_1 g}{\pi r^2} \tag{4}$$

Für den Druck versichten wir auf Angabe des allgemeinen Ergebnisses der Gaußschen Fehlerfortpflanzung.
Für die Masse m muss nicht nur die Masse des Schwingkörpers, sondern auch die der mitschwingenden Luft betrachtet werden. Diese berechnen wir unter Benutzung des Literaturwerts für die Dichte von Luft bei Normalbedingungen[2]:

$$m_2 = \pi r^2 h \rho \approx 0,046g$$

und ermitteln außerdem ihren Fehler, wobei wir die Dichte als nicht Fehlerbehaftet ansehen. Mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung folgt:

$$u_{m2} = \sqrt{(2\pi r h \rho u_r)^2 + (\pi r^2 \rho u_h)} \approx 0,001g$$

Wir lesen am Veruchsplatz folgende Größen ab:
Volumen des Glaskolbens $\equiv \mathbf{V}$
Durchmesser des Schwingkörpers $\equiv \mathbf{D}$
Masse des Schwingkörpers $\equiv \mathbf{m_1}$

Weiterhin berechnen wir:
Gesamtmasse $\equiv \mathbf{m}$
Druck um Glasgefäß $\equiv \mathbf{p}$

Wir erhalten:

	Luft	Argon
V	$(4381 \pm 10)cm^3$	$(4325 \pm 10)cm^3$
D	$(13,93 \pm 0,01)mm$	$D = (13,95 \pm 0,01)mm$
m_1	$(6,122 \pm 0,005)g$	$m_1 = (6,231 \pm 0,005)g$
m	$(6,172 \pm 0,06)g$	$(6,281 \pm 0,06)g$
p	$(1011 \pm 2)hPA$	$(1011 \pm 2)hPa$
κ	$\mathbf{(1,45 \pm 0,02)}$	$\mathbf{(1,59 \pm 0,01)}$

4 Fehleranalyse und Ergebniseinschätzung

Luft besteht 78% Stickstoff und 21% Sauerstoff und kann demnach in sehr guter Näherung als zweiatomiges Molekül mit 5 Freiheitsgraden angenommen werden, wohingegen Argon ein einatomig vorliegendes Edelgas ist, also 3 Freiheitsgrade besitzt.

Folglich können wir resümieren:

	theoret. Wert	Clément-Desormes	Schwingungsmethode
Luft	1,40	$1,17 \pm 0,05$	$1,45 \pm 0,02$
Argon	1,67	-	$1,59 \pm 0,01$

Die von uns ermittelten Adiabatenexponenten stimmen für keine der Messungen mit den erwarteten theoretischen Werten überein. Diese beruhen auf der Annahme unserer Gase als ideal, die nur Näherungsweise zutrifft, deren Fehler quantitativ aber nicht entscheidend ins Gewicht fällt. Des Weiteren enthält Luft selbst einen Argon-Anteil von etwa 1% [3], dessen Berücksichtigung den theoretischen κ-Wert für in der Größenordnung $1-2$ erhöhte.
Es liegt dennoch nahe, dass unsere Messungen durch andere systematische Fehler beeinflusst wurden. Wir wollen die Methoden einzeln betrachten.

4.1 Clément-Desormes-Methode

Wie wir feststellen mussten war der Ansatz eine konstante äußere Temperaturänderung durch einen längeren Messzeitraum und eine Regression zu berücksichtigen nicht durchführbar, da unsere Drücke teils stark schwankten. Dies ist durch äußere Temperaturschwankungen erklärbar die durch das öffnen und schließen von Fenstern und Türen, sowie durch die Nähe mehrerer Menschen zustande kommen konnten. Ebenso ist es vorstellbar, dass die Messapparatur nicht außreichen abgedichtet war und so ein Druckabfall eintrat.
Besonders auffällig sind die vergleichsweise großen Messwerte zu Beginn einer jeden Messreihe, die ein großes h_1, also ein kleine κ verursachen, deren Fehlerhaftigkeit unsere Abweichung vom theoretischen Wert qualitativ begründen kann.
Besonders drastisch ist der Druckabfall in unserer letzten Messreihe, weshalb hier eine grober Messfehler zu vermuten ist, doch auch eine Vernachlässigung dieser Reihe änderte unser Resultat nicht entscheidend.
Eine mögliche Verbesserung der Methode und damit eine Eingrenzung der Fehlerursachen wäre durch eine Durchführung des Versuch in thermisch isolierter Umgebung realisierbar. Weiterhin könnte der Druck nicht über einen bestimmen Zeitraum gemessen, sondern dann wenn er sich nicht mehr zu ändern scheint abgelesen werden, wobei eine hierfür gute Isolierung gegen ungewollten Druckausgleich wichtig wäre.

4.2 Schwingungsmethode

Die hier ermittelten Werte liegen deutlich näher an den Erwartungswerten, dennoch müssen auch hier systematische Fehler vermutet werden. Eine Auffälligkeit besteht in den stetig fallenden Resultaten für die Messreihe für Luft deren Ursache eventuell in einem stetigen Druckabfall liegt, der durch eine zu geringe Menge nachströmenden Gases verursacht wurde. Der Schwingkörper befand sich demnach also nicht im echten Gleichgewicht. Diese Hypotehese ließe sich leicht durch einen längeren Messzeitraum überprüfen.

4.3 Fazit

Die Schwingungsmethode ist derjenigen von Clément-Desormes-Methode eindeutig vorzuziehen. Sie biete in unserem Fall näher an den Erwartungen liegende Resultate und birgt weniger Fehlerquellen. Außerdem bietet sie, vorallem durch die Benutzung einer Lichtschranke, eine geringere Messunsicherheit. Sie ist einfacher zu realisieren und zu verbessern.

5 Anlage

5.1 Messdaten

anbei:
Messprotokoll

5.2 verwendete Software

- LaTeX
- Texmaker 1.8
- QtiPlot 0.9.6.2
- Ubuntu 9.04 - Jaunty Jackalope

Literatur

[1] *Physikalisches Grundprkatikum - Mechanik und Thermodynamik* (http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/Mechanik und Thermodynamik/PDF-Dateien/Mechanik und Thermodynamik.pdf - 22.04.09)

[2] Meschede, Dieter (2003) *Gerthsen Physik*, 22. Auflag, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York

[3] *http://de.wikipedia.org/wiki/Luft* – 07.05.2009